

## 고도폐수처리장에서 원생동물을 이용한 수질예측

이찬형<sup>†</sup> · 문경숙\* · 박상정\*\* · 이은주\*\*\* · 조재근 · 진익렬\*\*\*\*

대구광역시 보건환경연구원 · \*대구광역시 환경시설공단 · \*\*국립환경과학원  
\*\*\*대구광역시 상수도사업본부 · \*\*\*\*경북대학교 미생물학과

(2006년 3월 3일 접수, 2006년 3월 21일 채택)

## Protozoa as an Indicator of Effluent Quality at Advanced Wastewater Treatment Plants

Chan-Hyung Lee<sup>†</sup> · Kyung-Suk Moon\* · Sang-Jung Park\*\* · Eun-Ju Lee\*\*\* · Jae-Keun Cho · Ing-Nyol Jin\*\*\*\*

Public Health and Environment Institute of Daegu City · \*Environmental Installations Corporation of Daegu City  
\*\*National Institute of Environmental Research · \*\*\*Waterworks headquarters of Daegu City  
\*\*\*\*Department of Microbiology, Kyungpook National University

**ABSTRACT :** A quantitative survey of the protozoa microfauna at two advanced wastewater treatment plants has been carried out on a weekly basis. The abundance of the protozoa were compared with operating parameters and effluent quality using statistical procedures. The protozoa distribution indicated it seemed the composition of the influent wastewater and operating conditions of plant influenced the structure of protozoa in the plant. In statistical analysis, the distribution of protozoa showed the present operating condition of plant and predicted near-future effluent quality. Enough data concerning protozoa, operating parameters and effluent has been gathered, the operator has a valuable tool for predicting plant performance and near-future data of effluent based on microscopic examination. Perhaps more importantly it can be used to actually control the plant to adjust the operating conditions to obtain the protozoal populations that have been shown to provide the best effluent quality.

**Key Words :** Protozoa, Advanced Wastewater Treatment Plant, Effluent, Operating Parameter, Bioindicator

**요약 :** 고도폐수처리장의 원생동물의 분포를 주별로 조사하였다. 통계방법을 이용하여 원생동물의 개체수와 운영조건, 유출수질을 분석하였다. 유입수의 성상과 처리장의 운영조건에 영향을 받아 처리장별로 원생동물 분포가 다르게 나타났다. 통계분석을 통해, 원생동물의 분포로 현재 운영중인 처리장의 운영조건을 알 수 있고 가까운 미래의 유출수질을 예측할 수 있었다. 처리장의 원생동물 분포, 유출수질, 운영조건 자료들이 충분히 확보되면 원생동물 관찰에 의해 처리장의 운영현황 및 가까운 미래의 수질예측이 가능해진다. 수질예측이 가능하므로 운영조건을 조기변동 하여 처리수질을 양호하게 유지할 수 있다. 장기적으로는 가장 좋은 유출수질때 나타나는 원생동물의 분포를 얻을 수 있도록 처리장의 운영조건을 변경함으로써 좋은 유출수질을 얻을 수 있다.

**주제어 :** 고도처리장, 원생동물, 통계방법, 운영조건, 수질예측

### 1. 서론

대부분의 하·폐수처리방법은 미생물의 대사기능을 이용하여 유기성 오염물질 및 영양염류를 제거하는 생물학적 처리 방법으로, 활성슬러지 미생물상이 처리수의 수질을 결정하는 중요한 인자이다. 활성슬러지 미생물은 대부분 세균이며 5% 정도의 원생동물, 극히 일부의 미소후생동물, 조류, 균류로 구성된다. 세균은 생물학적 처리에 가장 중요한 미생물이지만 세균의 동정에 많은 시간과 노력이 소요되며, 동정에 많은 시간이 소요됨으로 동정한 결과를 현장운영에 반영하려면 처리장 환경이 달라질수 있어 지표미생물로 사용하기 어렵다. 원생동물은 활성슬러지 미생물의 5% 정도를 차지

하며, 크기가 세균보다 크고 동정도 형태학적 방법으로 분류되어 있어 현미경만 있으면 짧은 시간내에 동정이 가능하다. 1928년 Ardern과 Lockett는 원생동물 군집구조를 4개로 나누어 활성슬러지 처리장의 효율과 관련시켜 연구를 수행하였고, 그 후 하수처리장의 운영과 원생동물군집과의 관련성에 대한 연구가 Pillai, Johnson, Curds, Cockburn등 여러 연구자들에 의해 진행되었다.<sup>1)</sup> 처리공정에서 원생동물의 존재는 유출수 수질의 향상을 반영하며, 유출수 수질향상을 위해 필수적이다.<sup>2,3)</sup> 원생동물 중 섬모충류와 처리장 운영조건, 유출수의 수질, 유입수량등의 다변적 분석을 통해 관련성을 찾는 연구도 수행되었다.<sup>4,5)</sup>

지금까지 수행된 연구결과를 종합하면 원생동물은 활성슬러지의 적절성과 처리시설의 관리상태 등을 판정할 수 있는 좋은 지표로 사용되어 왔는데, 외국<sup>6)</sup>에서는 이러한 지표미생물에 대한 연구가 활발히 진행되어왔고, 체계적인 연구나 문

<sup>†</sup> Corresponding author  
E-mail: chlee@daegumail.net  
Tel: 053-760-1324

Fax: 053-760-1334

현이 구축되어 있지만, 국내에서는 황<sup>7)</sup>이 서울지역 6개 식품공장을 대상으로 수질과 지표미생물의 분포를 조사하였고, 김<sup>8)</sup>이 대구 달서천 하수처리장에서 수질지표와 원생동물과의 회귀분석을 수행하였으며, 정<sup>9)</sup>이 도시하수처리장 6개소와 산업폐수처리장 5개소를 대상으로 연구를 수행하였다. 그 외에는 하·폐수처리 관련 연구에서 미생물학적 지표에 관한 연구보고는 적은 편이다. 이러한 자료들은 대부분 표준활성슬러지법을 적용하고 있는 2차 처리방식인 처리장을 대상으로 수행한 연구결과이다. 하지만 하천의 부영양화를 방지하기 위해 건설되고 있는 고도처리장의 자료는 문<sup>10)</sup>과 이<sup>11)</sup>의 자료 외에는 거의 없는 실정이지만, 수질기준의 강화로 고도처리장은 앞으로 계속 늘어날 것이다.

이번 연구에서는 고도폐수처리장의 처리수질을 미생물분포로 예측하기 위해, 원생동물의 분포를 조사하고 통계분석을 하였다. 상관계수가 높은 원생동물을 분석하고 지표미생물로서의 가능성을 연구하기 위해 수행하였다.

## 2. 재료 및 방법

### 2.1. 시료 및 분석

대구시에 위치한 달서천하수처리장 공단계열과 북부처리장을 대상으로 2003년 1월부터 12월까지 매주 단위로 분석하였다. 달서천 공단계열은 염색공단의 염색폐수를 처리하며, 북부처리장은 생활하수와 공장폐수가 혼합되어 유입된다. 달서천처리장의 고도처리공법은 MLE(Modified Ludzack Eittinger)공법이며, 북부처리장은 A2O(Anaerobic/Anoxic/Oxic)공법으로 1차 침전지 유출수(생물반응조 유입수), 생물반응조, 2차 침전지의 유출수(생물반응조 유출수)를 채수하여 분석을 실시하였다. 생물반응조 유입수와 유출수의 BOD, TN, TP, 생물반응조의 MLSS를 분석하였다. SRT와 F/M 등 생물반응조 운전변수는 각 사업소의 운전자료를 사용하였다.

### 2.2. 원생동물 동정 및 계수

원생동물 시료는 채수병에 1/2정도를 채수하여 공기와 접촉을 유지하도록 한 후 2시간 이내에 광학현미경(Olympus BH-2)을 사용하여 2회 검경하였다. 원생동물 및 미소후생동물의 동정은 Patterson의 분류<sup>12)</sup>외에 일본하수도협회 분류기준<sup>13)</sup>과

Jahn<sup>14)</sup>자료를 참조하여 속(Genus)까지 동정하였다. 원생동물의 계수는 시료 0.05 mL를 1,000개의 구역이 나누어진 슬라이드 글라스에 넣고 90구역에 나타나는 수치를 평균하여 총구역수를 곱하는데, *Epistylis*속, *Opercularia*속 같이 군체를 형성하는 경우에는 각 개체를 1개체로 계수하였다.

### 2.3. 데이터 분석

원생동물 분포상과 처리장 운영조건, 유출수질의 관계를 파악하기 위한 통계분석은 SPSS Program(ver 11.0)을 이용하였다. 변수간의 관련성을 분석한 후 용이한 분석을 위해 공통성이나 배후의 특징등의 변수를 축소하거나 변형하는 요인분석법을 사용하였다. 분석에 사용한 변수는 처리장별로 95% 이상의 출현빈도를 나타내는 원생동물 속과 주요한 운전변수를 대상으로 하였는데, 요인은 scree plot에서 기울기가 완만해지는 지점까지의 요인을 대상으로 선정하였다. 요인의 회전은 varimax방식으로 하여 요인간의 상호 관련성이 없도록 독립성을 유지하면서 변수를 줄여 통계적으로 유의성이 있는 요인간의 분산의 형태를 해석하고자 하였다. 처리장 운영변수와 원생동물의 상관분석은 시료채취일을 대상으로 하였고, 처리수 수질항목 및 유기물 제거율과 원생동물의 상관관계는 시료채취일을 기준으로 7일전부터 7일후까지의 자료를 대상으로 하여 원생동물의 분포가 지난 기간의 수질을 반영하고 가까운 미래의 수질변화를 예측할 수 있는지를 조사하였다.

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1. 원생동물 분포

달서천처리장 공단계열의 연 평균 원생동물 분포는 편모충류 2,341 개체/mL(최소 504~최대 8,640), 육질충류 423 개체/mL(0~1,656), 섬모충류 4,446 개체/mL(2,304~12,384)로 원생동물의 개체수가 7,210 개체/mL(3,528~15,552)로 나타났고, 미소후생동물은 209 개체/mL(0~720)로 전체 원생동물과 미소후생동물의 총 개체수는 7,419 개체/mL(3,816~15,552)였다. 원생동물 구성비는 편모충류 30.7%, 육질충류 5.2%, 섬모충류 61.1%로 원생동물이 97.0%를 차지하며 미소후생동물은 3.0%를 나타내었다. 원생동물 분포는 전체 개체수의 61%를 차지하는 섬모충류 분포형태에 따라 원생동물과 전체 개체수 분포형태가 의존하며, 전체 개체수의 31%를 차지하는 편모충류에 따라 다소 변동이 나타난다. 섬모충류와 편모충류 개체수 증가가 일치하는 기간은 전체 개체수가 증가하였으며, 섬모충류가 감소하지만 편모충류가 증가한 기간인 7월 24일부터 9월 27일까지와 섬모충류는 일정하나 편모충류가 증가하는 기간인 10월 4일부터 17일까지 기간에는 전체 개체수가 증가하였다.

북부처리장은 연 평균 원생동물 분포가 편모충류 3,692 개체/mL(최소 216~최대15,696), 육질충류 2,265 개체/mL(432~5,880), 섬모충류 5,864 개체/mL(792~12,528)로 원생동물의 개체수가 11,821 개체/mL(2,952~23,472)를 나타냈고, 미소

Table 1. The characteristics of the influent wastewater

Characteristics	Sewage used	
	Dalseochon plant	Bukbu plant
Wastewater type	Industrial	Municipal+Industrial
Influent BOD(mg/L)	56.3	87.2
Influent TN(mg/L)	20.1	25.6
Influent TP(mg/L)	1.55	2.21
SRT(day)	18.9	26.0
F/M(kgBOD/kgMLSS)	0.07	0.09
Effluent BOD(mg/L)	4.9	3.5

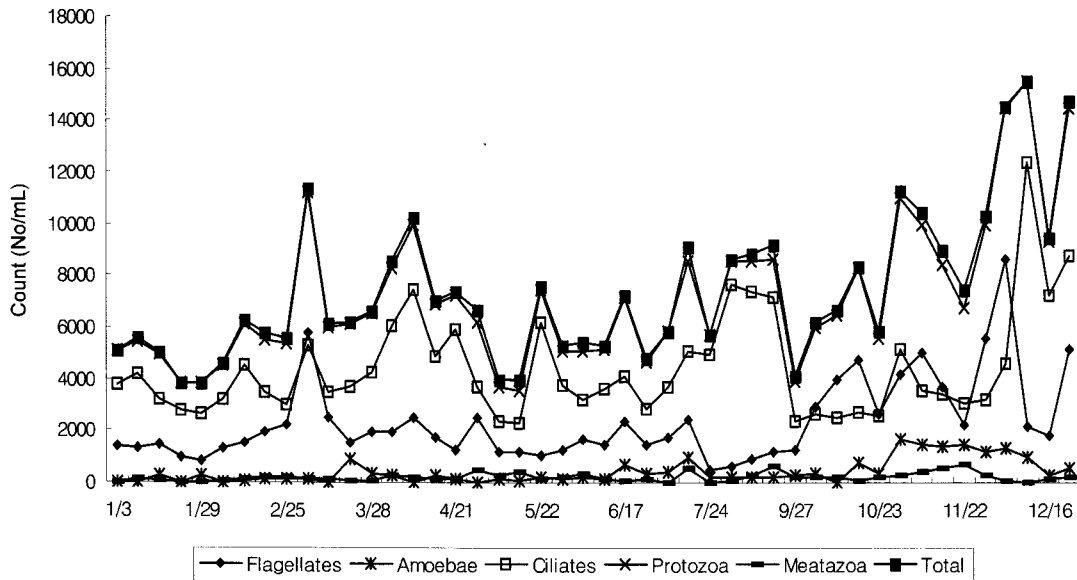


Fig. 1. Protozoa distribution on MLE plant.

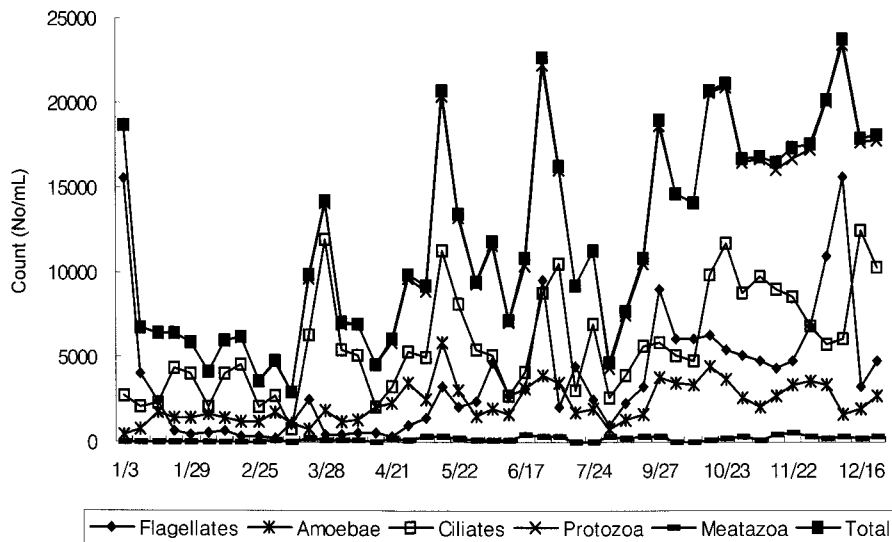


Fig. 2. Protozoa distribution on A<sub>2</sub>O plant.

후생동물은 165 개체/mL(0~576)로 전체 원생동물과 미소후생동물의 총 개체수는 11,987 개체/mL(2,952~23,760)였다. 원생동물 구성비는 편모충류 26.7%, 육질충류 21.1%, 섬모충류 50.8%로 원생동물이 98.6%를 차지하며, 미소후생동물은 1.4%를 나타내었다. 월별분포를 보면 1월을 제외하고 섬모충류 분포형태에 따라 원생동물과 전체 개체수의 분포형태가 서로 의존적이며, 편모충류는 1월과 12월에 개체수가 증가하였다. 북부처리장의 총 개체수는 달서천처리장 공단제열의 1.6배로 나타나 조사되었는데, 이 결과는 달서천처리장으로 유입되는 염색공단 폐수가 원생동물의 생육을 저해하기 때문인 것으로 판단된다. 두 처리장의 편모충류와 섬모충류의 구성비는 비슷하였고, 북부처리장은 육질충류가 21.1%로 달서천처리장보다 4배 정도 많게 나타났다. 섬모충류 비율이 50~61% 범위로 활성슬러지법에서 원생동물의 70%가 섬모충류

라는 Curd<sup>15)</sup>의 연구보다 다소 낮지만, 섬모충류의 개체수는  $4 \times 10^6 \sim 6 \times 10^6$  개체수/L로 정상 가동중인 처리장의 섬모충류 개체수는 약  $10^6$  개체수/L라는 Madoni<sup>16)</sup>의 연구결과보다는 많은 것으로 조사되었다.

*Actinophrys*와 *Prorodon* 같이 출현빈도가 5% 미만인 경우는 처리장에서 정상적으로 증식하는 원생동물이 아니라 장마철 같이 유입수 성상이나 운영조건이 급변하는 경우에 일시적으로 출현하는 원생동물로 판단된다.

개체수 분포는 출현빈도가 높은 경우 개체수도 증가하는 것으로 관찰되었는데 *Aspidisca*, *Trachelophyllum* 등의 출현 빈도는 95% 이상이었고, 개체수도 높았다. 활성슬러지의 원생동물 분포에 영향을 미치는 요인은 유입수 성상, 처리장의 운영조건, 미생물사이의 종간, 종내 상호작용, 독성물질의 유입, 수온, 강우 등이 있으나, 유입수 성상과 처리장의 운영

Table 2. Abundance and occurrence of protozoa and their rank

Genus	MLE plant		A <sub>2</sub> O plant		Genus	MLE plant		A <sub>2</sub> O plant	
	Number	Abundance(%)	Number	Abundance(%)		Occurrence(%)	Rank	Occurrence(%)	Rank
<i>Aspidisca</i>	1805	24.3	1807	15.1	<i>Aspidisca</i>	100	1	100	1
<i>Pleuromonas</i>	1108	14.9	1805	15.1	<i>Monas</i>	100	1	89	7
<i>Trachelophyllum</i>	743	10.0	1413	11.8	<i>Oikomonas</i>	98	3	100	1
<i>Monas</i>	544	7.3	429	3.6	<i>Pleuromonas</i>	98	3	93	6
<i>Cinetochilum</i>	544	7.3	655	5.5	<i>Trachelophyllum</i>	96	5	100	1
<i>Oikomonas</i>	425	5.7	1078	9.0	<i>Cinetochilum</i>	93	6	72	12
<i>Chilonella</i>	242	3.3	110	0.9	<i>Chaetospira</i>	93	6	33	19
<i>Chaetospira</i>	234	3.2	44	0.4	<i>Peranema</i>	91	8	89	7
<i>Amoeba</i>	226	3.1	141	1.2	<i>Rotaria</i>	85	9	57	16
<i>Paramecium</i>	200	2.7	8	0.1	<i>Paramecium</i>	83	10	9	28
<i>Rotaria</i>	186	2.5	92	0.8	<i>Litonotus</i>	80	11	59	15
<i>Peranema</i>	173	2.3	258	2.2	<i>Chilonella</i>	80	11	63	14
<i>Vorticella</i>	172	2.3	683	5.7	<i>Vorticella</i>	72	13	83	9
<i>Litonotus</i>	135	1.8	126	1.1	<i>Euglypha</i>	63	14	100	1
<i>Epistylis</i>	119	1.6	798	6.7	<i>Amoeba</i>	57	15	52	17
<i>Euglypha</i>	111	1.5	1009	8.4	<i>Coleps</i>	48	16	70	13
<i>Coleps</i>	89	1.2	122	1.0	<i>Pyxidicula</i>	39	17	78	10
<i>Drepanomonas</i>	55	0.7	2	0.0	<i>Drepanomonas</i>	35	18	2	31
<i>Pyxidicula</i>	53	0.7	486	4.1	<i>Epistylis</i>	33	19	78	10
<i>Bodo</i>	49	0.7	45	0.4	<i>Podophyra</i>	28	20	22	21
<i>Poteriodendron</i>	30	0.4	0	0.0	<i>Arcella</i>	26	21	98	5
<i>Podophyra</i>	28	0.4	19	0.2	<i>Bodo</i>	24	22	33	19
<i>Arcella</i>	27	0.4	546	4.6	<i>Tokophyra</i>	20	23	11	26
<i>Blepharisma</i>	26	0.4	0	0.0	<i>Blepharisma</i>	20	23	0	36
<i>Lecane</i>	21	0.3	42	0.3	<i>Poteriodendron</i>	17	25	0	36
<i>Sphaerophrya</i>	17	0.2	0	0.0	<i>Lecane</i>	15	26	37	18
<i>Vaginicola</i>	16	0.2	3	0.0	<i>Sphaerophrya</i>	15	26	0	36
<i>Tokophyra</i>	14	0.2	10	0.1	<i>Vaginicola</i>	13	28	2	31
<i>Entosiphon</i>	8	0.1	77	0.6	<i>Entosiphon</i>	7	29	20	22
<i>Amphileptus</i>	5	0.1	8	0.1	<i>Amphileptus</i>	7	29	11	26
<i>Opercularia</i>	3	0.0	47	0.4	<i>Opercularia</i>	2	31	7	29
<i>Vahlkamphia</i>	3	0.0	0	0.0	<i>Actinophrys</i>	2	31	17	23
<i>Actinophrys</i>	2	0.0	78	0.7	<i>Vahlkamphia</i>	2	31	0	36
<i>Diffugia</i>	2	0.0	0	0.0	<i>Diffugia</i>	2	31	0	36
<i>Aeolosoma</i>	2	0.0	0	0.0	<i>Aeolosoma</i>	2	31	0	36
<i>Macrobotus</i>	0	0.0	18	0.1	<i>Macrobotus</i>	0	36	15	24
<i>Dyplogaster</i>	0	0.0	2	0.0	<i>Dyplogaster</i>	0	36	2	31
<i>Prorodon</i>	0	0.0	5	0.0	<i>Prorodon</i>	0	36	4	30
<i>Euplotes</i>	0	0.0	2	0.0	<i>Euplotes</i>	0	36	2	31
<i>Chaetonotus</i>	0	0.0	12	0.1	<i>Chaetonotus</i>	0	36	15	24
<i>Multifascicuum</i>	0	0.0	2	0.0	<i>Multifascicuum</i>	0	36	2	31

조건이 가장 중요한 것으로 알려져 있는데 이번 연구는 처리장별로 유입수의 성장과 운영조건이 다르기 때문에 원생동물의 분포가 처리장별로 다르게 나타나는 것으로 생각된다.

한 처리장내에서 원생동물의 연간 분포변화의 원인도 유입

수 성장, 미생물간의 상호작용, 수온, 운영조건에 따라 변화되고 처리장내에서 유입수 성장은 연간 변화보다는 시간에 따른 변화폭이 크고, 월별평균 유입수질은 크게 변화하지 않는 것으로 조사되었다. 유입수량, HRT, SRT 등 같은 운영조

**Table 3.** Rotated component matrix

MLE plant	Factor 1	Factor 2	Factor 3	Factor 4	Factor 5	A <sub>2</sub> O plant	Factor 1	Factor 2	Factor 3
<i>Aspidisca</i>	-	-0.269	-	-	0.857	<i>Oikomonas</i>	-0.651	0.481	-
<i>Monas</i>	-	0.338	-	-0.258	0.712	<i>Euglypha</i>	-	0.364	0.216
<i>Oikomonas</i>	-	0.258	-0.743	-	0.308	<i>Trachelophyllum</i>	-	0.706	0.228
<i>Pleuromonas</i>	-	-	-0.816	-	-0.245	<i>Aspidisca</i>	-	-0.202	-
<i>Trachelophyllum</i>	-0.207	0.777	-	0.235	-	<i>Arcella</i>	-0.617	0.373	-
Influent flow	-0.926	-	-	-	-	Influent flow	-0.696	-	-
Water temp.	-0.213	-0.778	-	0.279	-0.211	Water temp.	-0.859	-	0.269
DO	0.252	-	0.330	-	-	DO	-	-0.443	0.318
MLSS	-	-	-	-0.827	0.235	MLSS	-	-	0.893
SVI	0.216	0.585	-	-0.343	-0.412	SVI	0.862	-	-
F/M	-0.394	-	-	0.795	-	F/M	0.217	0.735	-0.276
SRT	0.669	0.456	-	-	-	SRT	-	-	-
HRT	0.924	-	-	-	-	HRT	0.698	-	-
Effluent BOD	-	0.553	0.610	-	-	Effluent BOD	0.712	-	-0.467
Effluent TN	0.825	-	-	-	-	Effluent TN	0.809	-	-
Effluent TP	-	0.319	0.589	0.498	-0.215	Effluent TP	0.366	0.405	0.565
Eigen value	3.681	2.649	2.401	1.720	1.262	Eigen value	5.064	2.382	1.615
Variance explained %	23.01	16.56	15.01	10.75	7.89	Variance explained %	31.65	14.89	10.09

건은 처리장의 사정에 따라 일시적으로는 크게 변할 수 있지만, 연간 크게 변화하지는 않았고 환경요인 중에서 가장 크게 변동하는 것은 수온으로서 달서천 공단계열은 20.0℃, 북부처리장은 18.2℃의 차이가 있었다. 수온은 세균이나 원생동물의 증식속도에 큰 영향을 미치므로 저온에서 증식속도가 작은 생물은 활성슬러지에서 생존할 수 없다. 미생물의 대사 및 활성도는 온도에 의존하고 있으므로 수온의 변화에 따라 활성슬러지에 존재하는 유기물의 농도 및 존재형태가 변하고 환경조건도 변하게 된다. 따라서 수온이 세균의 대사 및 증식에 영향을 줌으로서 변화된 세균분포에 적합하게 원생동물분포가 이루어진다고 판단된다.

**3.2. 요인분석**

요인분석에서 MLE처리장은 5개, A2O처리장은 3개의 요인을 얻었다. MLE공법 처리장인 달서천 공단계열의 요인 1은 원생동물과 관련이 적고 운영조건과 관련이 있었는데, 이는 유입수량이 감소하는 기간에 HRT가 증가하며 유출수의 TN농도가 증가되는 것으로부터 알 수 있었다. 요인 2는 수온이 낮은 기간에 SVI, SRT가 증가하며 유출수의 BOD가 증가되었고, 수온과 *Trachelophyllum*의 관련성은 상관분석과 동일하게 나타났다. 요인 3은 편모충류와 관련이 있으며, 유출수의 BOD와 TP가 증가되었다. 요인 4는 MLSS와 관련 있으며, 수온이 낮은 겨울철 MLSS을 높게 유지하는 것을 나타내었다. MLSS가 증가하면 *Monas*도 증가하는 것으로 상관분석과 일치하였다. 요인 5는 요인들 중 원생동물과 관련이 있으며, SVI와 관련이 있는 것으로 판단된다. A2O공법 처리장인 북부처리장의 요인 1은 유입수량과 수온이 감소하는 겨울철에 SVI와 HRT가 증가하고 유출수 수질이 나빠짐을

나타내며, *Oikomonas*와 *Arcella*는 이런 조건에서 생육이 저해된다. 요인 2는 모든 원생동물종류와 관련성을 나타내어 생물학적 요인으로 판단된다. 요인 3은 MLSS와 관련이 있는 요인으로 판단된다.

**3.3. 상관분석**

처리장 운영조건과 원생동물 종류의 상관분석에서 운영조건별로 상관성이 있는 종류는 처리장별로 다르게 나타났다.

**Table 4.** Correlation between operating parameter and protozoa on MLE plant

Operating parameters	Taxa	
	Positive correlation	Negative correlation
Flow	<i>Bodo</i> **	
Temp.	<i>Testate amoebae</i> *, <i>Drepanomoas</i>	<i>Monas</i> **, <i>Chrysophytes</i> **, <i>Tracheolophyllum</i> *, <i>Haptorids</i> **
DO		<i>Amoeba</i> **, <i>Protozoa</i> *, Total number*
MLSS	<i>Monas</i>	<i>Arcella</i>
SVI	<i>Bodo</i> , <i>Drepanomonas</i> **, <i>Haptorids</i>	<i>Arcella</i> , <i>Testate amoebae</i> **, <i>Epistylis</i> , <i>Aspidisca</i> **, <i>Hypotrichs</i> **
Return rate	<i>Pyxidicula</i> ***, <i>Coleps</i> ***, <i>Drepanomonas</i>	<i>Monas</i> *, <i>Bodo</i> **, <i>Trachelophyllum</i> ***, <i>Paramecium</i> *, <i>Haptorids</i> **
F/M	<i>Bodo</i>	<i>Drepanomonas</i> *, <i>Cinetochillum</i> *, <i>Hymenostomes</i> *
SRT		<i>Bodo</i> , <i>Metazoa</i> *
HRT		<i>Bodo</i> *

\* p < 0.05, \*\* p < 0.01

**Table 5.** Correlation between operating parameter and protozoa on A<sub>2</sub>O plant

Operating parameters	Taxa	
	Positive correlation	Negative correlation
Flow	<i>Peranema*</i> , <i>Oikomonas</i> , Chrysophytes*, Flagellates*, <i>Arcella*</i> , <i>Euglypha*</i> , Testate amoebae**, Amoebae**, <i>Chilodonella**</i> , <i>Cinetochillum**</i> , Cyrtophores**, Oligohymenophora**, Hymenostomes**, Prostomes*, Ciliates*, Protozoa**, Metazoa**, Total number**	<i>Vorticella*</i>
Temp.	<i>Oikomonas*</i> , Chrysophytes*, <i>Arcella**</i> , Testate amoebae**, Amoebae**, <i>Chaetospira</i> , Cyrtophores**, Hymenostomes*, Metazoa**	<i>Amoeba*</i>
DO		<i>Euglypha</i> , Suctoria*
SVI	<i>Amoeba*</i>	<i>Oikomonas**</i> , Chrysophytes*, <i>Arcella**</i> , Testate amoebae**, Amoebae**, Cyrtophores**, Prostomes*, Metazoa**
Return rate		<i>Oikomonas**</i> , <i>Monas*</i> , Chrysophytes**, <i>Arcella*</i> , <i>Euglypha*</i> , Testate amoebae**, Amoebae**, <i>Chilodonella**</i> , <i>Cinetochillum</i> , Cyrtophores**, Oligohymenophora**, Hymenostomes**, Prostomes*, Ciliates**, Protozoa**, Metazoa**, Total number**
F/M		<i>Chilodonella**</i> , Cyrtophores**
SRT		Bodonoids*
HRT		<i>Peranema*</i> , <i>Oikomonas*</i> , Chrysophytes*, Flagellates*, <i>Arcella</i> , <i>Euglypha*</i> , Testate amoebae*, Amoebae*, <i>Chilodonella*</i> , <i>Cinetochillum</i> , Cyrtophores*, Oligohymenophora*, Hymenostomes*, Prostomes*, Ciliates*, Protozoa*, Metazoa*, Total number*

\* p < 0.05, \*\* p < 0.01

달서천처리장 공단계열에서 *Bodo*는 유입수량과 상관성을 나타내었다. *Bodo*같은 편모충류는 활성슬러지 초기단계에 나타나거나 정상적인 활성슬러지가 파괴되어 활성슬러지 생태계가 흔들릴 때 출현하는 종류로 활성슬러지가 안정화 될수록 개체수는 감소한다. 유입수량이 증가하면 SRT와 HRT에 변동이 생겨 활성슬러지 생태계 구조가 바뀌면서 편모충류의 출현이 잦아진다. *Bodo*는 F/M비에 양의 상관성을 보였는데, 고농도 BOD가 유입되면 활성슬러지가 적응하는 시간이 소요됨으로 초기에 활성슬러지의 혼란이 일어나 *Bodo*같은 편모충류의 개체수가 일시적으로 증가한다고 판단된다.

북부처리장에는 유입수량이 많을수록 원생동물 종류와 총 개체수가 증가하는 것으로 나타나 달서천 공단계열과는 다른 양상을 보였다. 유입수량에 따른 HRT는 원생동물 종류와 총 개체수와 음의 상관을 나타낸다. 반송슬러지 반송율도 음의 상관을 나타내는데, 북부처리장은 반송율을 69.7%(52.0%~117.0%)로 높게 운영하고 있어 최종침전지에서 침강된 침전슬러지에서 폐기되는 폐슬러지의 양이 감소되어 죽은 미생물이 반송되어 생물반응조에서 살아있는 원생동물 개체수도 적어지고 처리효율도 낮아진다. 따라서 반송율을 낮춰서 활성슬러지에 활성이 있는 미생물을 공급시켜 원생동물의 증식을 촉진시키고 처리효율도 증대하여야 할 것이다.

각 처리장은 고유한 유입수 성상을 지니며, 운영조건도 상이하므로 운전항목에 대한 원생동물의 상관성이 다르게 나타나는 경우가 발생되며, 처리장별로 상관성이 다르게 나타나기

때문에 여러 처리장의 공통지표로 사용하기 위한 상관계수나 유의도가 낮은 지표를 개발하기 보다는 단일처리장 지표로 사용하더라도 상관계수나 유의도가 높은 지표를 사용하는 것이 처리장의 효율적 운영에 기여할 수 있을 것으로 판단된다.

원생동물과 유출수 BOD 등에 대한 유기물 제거율의 상관 분석 결과도 처리장 별로 다르게 나타났다. BOD와는 음의 상관관계를 보이지만, BOD제거율과는 양의 상관관계를 보이는 경우 같이 수질항목과 제거율의 상관성이 반대로 나오는 경우가 지표로서 적용 가능성이 있다. 그러나 수질항목과 제거율의 상관성이 동일하게 나타나거나, 수질항목과 제거율의 한 부분에서만 상관성이 나타나는 경우가 많았다.

시료채취일 7일 전부터 7일 후까지의 상관성이 양이나 음으로 일정하게 나타나고, 수질항목과 제거율의 상관성이 반대로 나타나 처리장별 수질지표로 사용될 수 있는 원생동물 종류를 나타내었다(Table 6).

달서천처리장 공단계열의 BOD제거율은 *Peranema*, COD 제거율은 *Trachelophyllum*, SS제거율은 *Chaetospira*, Oligohymenophora, TP제거율은 *Amoeba*, *Cinetochillum*, *Aspidisca*, Ciliates, Protozoa 등과 양의 상관관계를 나타내고 있으며, 이런 원생동물 종류가 증가하면 유출수질이 양호하게 나타남을 알 수 있었다. COD제거율과 음의 상관관계를 나타내는 *Pleuromonas*, Testate amoebae, Amoeba나 BOD제거율과 음의 상관을 나타내는 *Paramecium*의 개체수가 증가하면 달서천 공

**Table 6.** Correlation between water quality of effluent and protozoa

Plant	Taxa	Positive correlation	Negative correlation
	<i>Peranema</i>	BODr, TPr	BOD, TP
	<i>Pleuromonas</i> , Testate amoebae, Amoebae	COD	CODr
MLE	<i>Amoeba</i> , <i>Cinetochillum</i> , <i>Aspidisca</i> , Ciliates, Protozoa, Total number	TPr	TP
	<i>Trachelophyllum</i>	CODr, SSr	COD, SS
	<i>Paramecium</i>	BOD, CODr, SSr	BODr, COD, SS
	<i>Chaetospora</i> , Oligohymenophora	SSr	SS
	Haptorids	CODr	COD
A <sub>2</sub> O	<i>Pyxidicula</i> , Amoebae, <i>Cinetochillum</i> , Oligohymenophora, Ciliates, <i>Rotaria</i> , Total number	TP	TPr
	<i>Euglypha</i>	TP, BODr	TPr, BOD
	Metazoa	BODr	BOD

BODr : BOD removal efficiency

단계별 유출수질은 악화될 것으로 예상된다.

북부처리장의 경우 BOD와 TP가 상관성을 보이는데 *Euglypha*, Metazoa는 BOD제거율과 양의 상관성을 보이고 *Pyxidicula*, Amoebae, *Cinetochillum*, Oligohymenophora, Ciliates, *Rotaria*, Total number는 TP제거율과 음의 상관성을 보였다. 따라서 *Cinetochillum*, Ciliates, Total number는 달서천 공단계열에서는 TP제거율과 양의 상관성을 나타내므로 처리장별로 항목에 대한 상관성이 달라진다.

유출수질 및 유기물 제거율을 종속변수로 원생동물 종류를 독립변수로 하여 회귀분석을 실시하여 회귀방정식을 얻으면, 처리장 수질항목의 예상값을 예측할 수 있으며 상관분석과 함께 사용하면 처리장의 수질변화를 미리 예상할 수 있다.

처리장의 원생동물 분포, 유출수질, 운영조건의 자료들이 충분히 확보되면 원생동물 분포를 가지고 운영현황 및 가까운 미래의 수질예측이 가능해지고 수질예측을 통해 수질 악화가 예측되면 처리장의 운영조건을 변경하여 처리수질의 변동폭을 감소시키고 양호한 수질을 연중 유지할 수 있고 장기적으로는 가장 좋은 유출수질을 나타내는 원생동물분포를 얻을 수 있는 방향으로 처리장의 운영조건을 변동하여야 한다.

처리장 운영에 원생동물의 활용은 여러 장점이 있지만 여러 처리장에 동시에 적용될 수 있는 지표속을 발견하기는 어렵다. 처리장별 유입수 성장과 요구되는 방류수 수질기준이 달라 운영조건이 달라지고, 각 운영조건에 적용하는 원생동물 종류가 증식함으로 처리장별로 원생동물의 분포가 다르다. 원생동물과 수질항목, 운영조건과의 상관 정도도 달라지므로 여러 처리장에 적용하기보다는 단일 처리장에 적용하는 것을 목표로 하면 예측성을 높일 수 있다.

#### 4. 결론

고도폐수처리장의 효율적 운영을 위해 원생동물의 분포를

조사하고, 원생동물을 이용하여 수질의 예측을 위한 bioindicator의 가능성을 분석하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 원생동물 종류별 개체수 분포는 출현빈도가 높을 경우 개체수도 많은 것으로 관찰되었는데, *Aspidisca*, *Trachelophyllum*, *Oikomonas*의 출현빈도는 95% 이상이였다.

2) 처리장의 원생동물 분포는 유입수의 성장과 운영조건 차이가 세균의 증식에 영향을 미치고, 변화된 세균상에 적합하게 원생동물 분포가 이루어진다고 판단된다. 미생물분포와 통계결과는 처리장마다 다르므로 여러 처리장보다는 단일처리장에 적용되는 지표개발이 처리장의 효율적 운영에 기여할 수 있을 것으로 생각된다.

3) 처리장의 원생동물 분포, 유출수질, 운영조건 자료들이 충분히 확보된다면 원생동물 분포를 가지고 운영현황 및 가까운 미래의 수질예측이 가능해짐에 따라 처리장 운영조건의 조기변동 또는 조치를 통해 처리수질을 양호하게 유지하는데 도움이 될 것으로 판단된다.

#### 사 사

본 연구는 대구광역시 환경시설공단의 지원에 의해 수행되었으며 이에 감사드립니다.

#### 참고문헌

- Curds, C. R., "The ecology and role of protozoa in aerobic sewage treatment process," *Ann. Rev. Microbiol.*, **36**, 27~46(1982).
- Curds, C. R. and Cockburn, A., "Protozoa in biological sewage treatment processes. II. Protozoa as indicators in the activated sludge process," *Water Res.*, **4**, 237~249(1970).
- Curds, C. R. and Hawkes, H. A., "Ecological aspects of used-water treatment," vol. 2. Biological activities and treatment processes, Academic Press, London, pp. 77~162(1983).
- Esteban, G., C. Tellez, and Bautista, L. M., "Dynamics of ciliated protozoa communities in activated sludge process," *Water Res.*, **25**, 967~972(1991).
- Madoni, P., Davoli, D., and Chierici, E., "Comparative analysis of the activated sludge microfauna in several sewage treatment works," *Water Res.*, **27**, 1485~1491(1993).
- Poole, J. E. P., "A study of the relationship between the mixed liquor fauna and plant performance for a variety of activated sludge wastewater treatment works," *Water Res.*, **18**, 281~287(1984).
- 황운영, 식품공장의 폐수처리에 있어서 지표미생물을 이용한 수질 판정, 건국대학교 석사학위 논문(1987).

8. 김선숙, 하수처리장에서 수질오염지표와 원생동물과의 상관관계, 영남대학교 석사학위 논문(1989).
9. Chung, J. C. and Kim, N. C., "Types and abundance of filamentous bacteria, protozoa and metazoa in activated sludge," *Kor. J. Appl. Microbiol. Biotechnol.*, **23**, 363~371(1995).
10. Moon, K. S., Kim, S. M., Seok, M. S., and Lee, C. H., "Protozoan distribution in anoxic/oxic process," *J. KSEE*, **25**(8), 991~995(2003).
11. Lee, C. H. and Moon, M. S., "Protozoa Structure of Anaerobic/Anoxic/Oxic Process," *Kor. J. Microbiol. Biotechnol.*, **31**, 264~270(2003).
12. Patterson, D. J., *Free-Living Freshwater Protozoa*, John Wiley and Sons, pp. 23~191(1996).
13. 일본하수도협회, 활성슬러지 포기탱크의 미생물, 동화기술, 서울, pp. 47~258(1997).
14. Jahn, T. L., Bovee, E. C., and Jahn, F. F., *How to know protozoa*, 2nd ed., WCB/McGraw-Hill, Iowa, pp. 46~266(1979).
15. Curds, C. R., "Ecological aspects of used-water treatment," vol. 1. The organisms and their ecology, Academic press, London, pp. 203~268(1975).
16. Madoni, P., "A sludge biotic index(SBI) for the evaluation of the biological performance an activated sludge plants based on the microfauna analysis," *Water Res.*, **28**(1), 67~75(1994).